

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Praha 2011

Jan ŽIDLICKÝ

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Mechatronické systémy v automobilu

Bakalářská práce

Praha 2011

Vedoucí práce: Ing. Gunnar Künzel

Autor práce: Jan Židlický

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Jan Židlický**

obor Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Mechatronické systémy v automobilu**

## **Osnova bakalářské práce:**

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Rozdělení mechatronických systémů
4. Popis a rozbor funkce jednotlivých mechatronických systémů
5. Závěr
6. Seznam literatury
7. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

Doporučené zdroje:

Maixner L. a kol.: Mechatronika. Computer Press, Brno 2006

Vlk Fr.: Dynamika motorových vozidel. Nakl. a vyd. Vlk, Brno 2000

Gregora St. a kol.: Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel. UP Pardubice 2008

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Gunnar Künzell**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011

*Ing. Künzell*

Vedoucí katedry



*[Signature]*  
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a použil jen uvedených pramenů a literatury.

Praha 2011

.....  
Jan Židlický

Poděkování:

Na tomto místě chci v první řadě poděkovat panu Ing. Gunnaru Künzelovi za metodickou pomoc, odborné vedení a konzultace při zpracovávání bakalářské práce.

Dále chci poděkovat panu Lukáši Kadlečkovi za pomoc při realizaci praktického testu ABS.

**Abstrakt:** Cílem této bakalářské práce bylo prozkoumání mechatronických systémů používaných v moderních automobilech. V kapitole „Mechatronika“ je obecně pojednáno o mechatronice jako takové, dále o pojmech mechatronická soustava, systém, výrobek a také shrnutí jednotlivých používaných systémů. V kapitole „Brzdové systémy“ jsou popsány protiblokovací systém ABS, systém regulace prokluzu ASR, elektronický závěr diferenciálu EDS, stabilizační systém ESP, brzdový asistent, elektro-hydraulický brzdový systém SBC a systém pro sjíždění prudkých svahů HDC. Další kapitola „Řízení motoru“ se zabývá regulací palivového poměru pro spalovací motor. V kapitole „Pasivní bezpečnost“ je popsán systém airbagu a aktivní opěrky hlavy. Kapitola „Komfortní systémy“ se zabývá především tempomatem a jeho vylepšenou adaptivní verzí ACC. Dále popisuje automatickou převodovku. V poslední kapitole „Systémy sledování okolí“ je popsána funkce dvou systémů společnosti Volvo City Safety a systém detekce chodců.

**Klíčová slova:** soustava, systém, automobil, mechatronika, ABS

### **Mechatrical systems in a car**

**Summary:** The aim of this thesis was to explore the electromechanical systems used in modern automobiles. In the chapter "Mechatronics" is generally discussed such as mechatronics, as well as the concepts of mechatronics compages, system, product, and also provides a summary of each of the systems. In the chapter "Braking Systems" describes the ABS system, Anti-Slip Regulation ASR, electronic differential locks EDS, Electronic Stability Programme ESP, Brake Assist, Sensatronic Brake Control SBC and Hill Descent Control HDC. Another section "Motor Management" deals with the regulation of the fuel ratio for internal combustion engine. In the chapter "passive safety" describes a system of airbags and active headrests. The chapter on "Comfort Systems" focuses mainly on cruise control and improved adaptive version of the ACC. It also describes an automatic transmission. In the last chapter, "Monitoring Systems environment" describes the function of two systems, the Volvo City Safety and pedestrian detection system.

**Keywords:** compages, system, car, mechatronics, ABS

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Mechatronika .....	2
2.1	Mechatrická soustava.....	3
2.2	Mechatronický systém .....	3
2.3	Mechatronický výrobek .....	4
2.4	Mechatronické systémy v automobilu .....	5
3	Brzdové systémy .....	6
3.1	Jízdní stabilita .....	6
3.2	Protiblokovací systém ABS (Anti-lock Brake System).....	8
3.2.1	Praktický test ABS .....	11
3.3	Systém regulace prokluzu kol ASR (Anti-Slip Regulation) .....	18
3.4	Elektronický závěr diferenciálu EDS (Elektronische Differenzialsperre)..	19
3.5	Stabilizační systém ESP (Electronic Stability Programme) .....	22
3.6	Brzdový asistent (Brake Assist).....	24
3.7	Elektro-hydraulický brzdový systém SBC (Sensatronic Brake Control) ...	25
3.8	Sjíždění prudkých svahů HDC (Hill Descent Control).....	25
4	Řízení motoru.....	26
5	Pasivní bezpečnost .....	30
5.1	Airbag .....	30
5.2	Aktivní opěrka hlavy.....	31
6	Komfortní systémy.....	32
6.1	Regulátor rychlosti (Tempomat).....	32
6.2	Adaptivní tempomat ACC (Adaptive Cruise Control) .....	32
6.3	Automatická převodovka .....	33
7	Systémy sledování okolí .....	34
7.1	City Safety .....	34
7.2	Systém detekce chodců (Pedestrian Detection) .....	34
8	Závěr .....	35

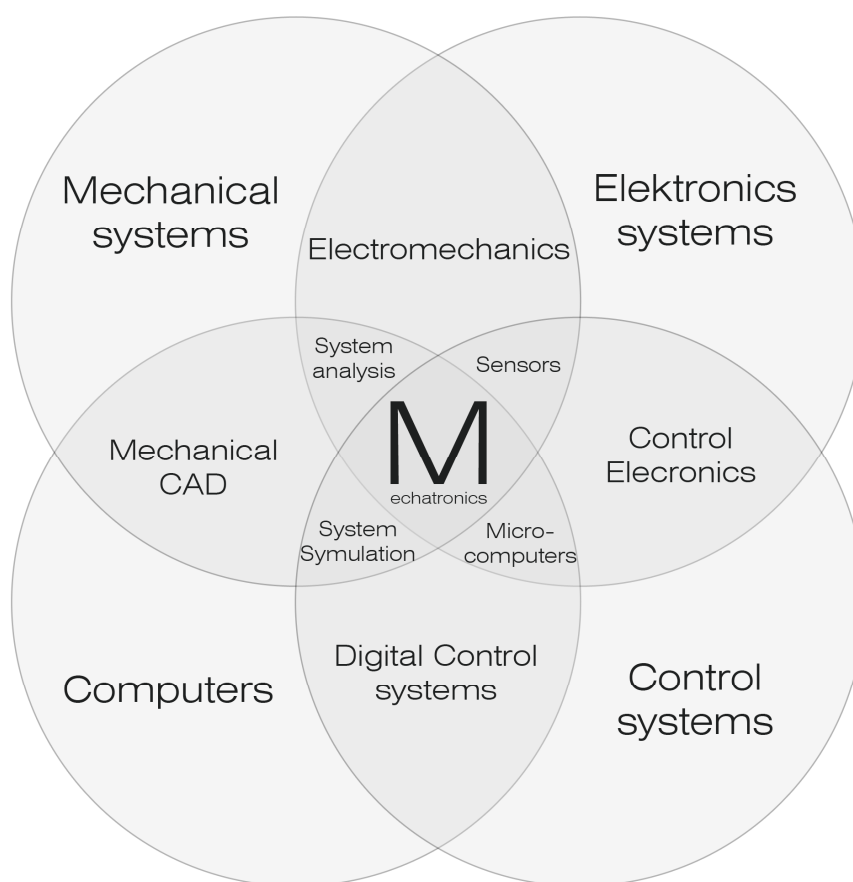


# 1 Úvod

Mechatronika jako obor je velmi mladá, ale za dobu své existence se velmi rozšířila a přinesla nové výrobní možnosti a funkce. Chytře kombinuje mechaniku, elektroniku, řídicí techniku a softwarové inženýrství a vytváří tak vyšší přidanou hodnotu a „inteligenci“ výrobků. Požadavky na moderní automobil tlačí na využití těchto chytrých systémů především v oblasti bezpečnosti. Výrobci automobilů se snaží o co největší míru bezpečí nejen pro cestující uvnitř vozu, ale i pro chodce a další účastníky případné nehody. Automobilky jako Volvo si na tom velmi zakládají a pojem bezpečný vůz je pro ně stěžejní. Testy bezpečnosti NCAP jsou i podstatným hlediskem pro zákazníka, a tím mají vliv i na prodejnost. V automobilech, především pak v oblasti aktivní bezpečnosti, posouvá mechatronika bezpečnost na úplně novou úroveň. Prvním velkým krokem bylo zařazení protiblokovacího systému ABS do systémů automobilu. Tento systém následoval vývoj v oblasti brzdných systémů přes kontrolu trakce, uzávěru diferenciálu až k stabilizačnímu systému ESP. Velkým průlomem v oblasti pasivní bezpečnosti byl airbag, bez kterého si ani moderní automobil nedokážeme představit. I přes posun v konstrukci karosérií, kostry vozu a zlepšování deformačních zón je airbag nenahraditelný. Jedním z nejnovějších bezpečnostních systémů v automobilu je využití radarových senzorů a kamer pro sledování okolí, ve snaze pomoci řidiči identifikovat nebezpečí dříve než je pozdě, případně mu i pomoci v reakci. I přes podstatné zlepšení bezpečnosti dochází stále k velkému počtu nehod a zranění cestujících, z čehož vyplývá, že prostor ke zlepšování je stále obrovský. Mechatronické systémy, které sice nepomáhají v bezpečnosti, ale pro provoz vozu jsou nepostradatelné, jsou systémy řízení motoru. Regulují vstříkovací poměr a tím i ekonomičnost a ekologičnost provozu. Poslední oblastí využití mechatronických systémů je oblast komfortní, zlepšení cestovního luxusu a pohodlí.

## 2 Mechatronika

Pojem mechatronika vznikl v Japonsku v 70. letech dvacátého století spojením slov Mechanical systems a Electronics, neboli Mechatronics. Poprvé ho vyslovil Tetsuro Mori, inženýr japonské firmy Yaskawa. Jde tedy o obor velmi mladý, ale značně se rozšiřující s uplatněním v široké škále průmyslových oblastí. Postupně se z Japonska rozšířil do USA, Německa, Anglie a také třeba do Finska. Do České republiky se dostal až v polovině devadesátých let.

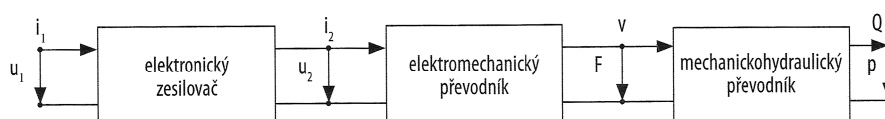


*Obr. 1: Mechatronika jako kombinace oborů*

Mechatronika v sobě integruje strojní inženýrství, elektroniku a výpočetní techniku. Nejde však o pouhé sloučení oborů, ale jejich integraci na takové úrovni, která přináší nové dimenze funkčnosti. Vznikají nové neznámé kombinace technologií vytvářející rychlejší, spolehlivější, ekonomičtější a víceúčelovější systémy.

## 2.1 Mechatronická soustava

„Mechatronická soustava je řízená elektromechanická soustava s technologickým působením – pracovní stroj nebo zařízení, navrhované jako elektro – mechanicko – technologická transformace pro optimální přeměnu vstupní elektrické energie ve výstupní technologický účinek.“<sup>1</sup> Soustava bývá kombinací např. elektromechanickou, nebo elektrohydraulickou. Na Obr. 2 je blokové schéma transformace a přenosu energie.



Obr. 2: Blokové schéma transformace a přenosu energie  
Zdroj: Mechatronika

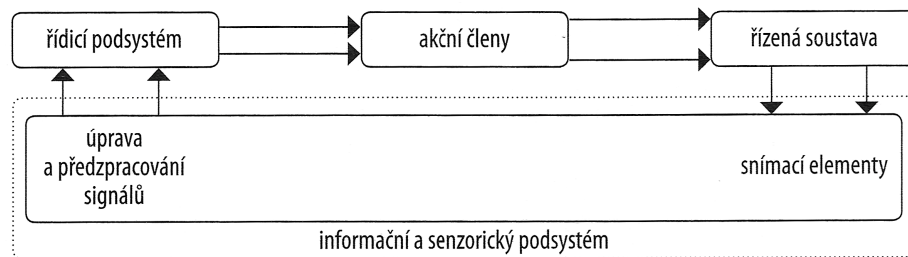
Chování soustavy lze popsat pomocí Kirchhoffových zákonů v případě elektrických obvodů a analogicky k tomu chování mechanických obvodů je dáno Newtonovým zákonem a rotační pohyb definuje momentová rovnice.

## 2.2 Mechatronický systém

Mechatronický systém je dynamický systém realizující pohyb nebo transformaci sil a momentů akčním členem na základě inteligentního řídicího systému. Ten vyhodnocuje vstupní informace zadaným algoritmem. Systém na Obr. 3 charakterizuje funkcionální integrace mezi jednotlivými podsystémy, možnost modifikace funkcí, jistá úroveň inteligence a autonomnosti.

---

<sup>1</sup> MAIXNER, Ladislav a kolektiv. Mechatronika., s. 9.



Obr. 3 Mechatronický systém  
Zdroj: Mechatronika

## Znaky mechatronického systému

- Alespoň jeden z podsystemů s přímou energetickou interakcí je mechanický.
- Podsystem řízení je zpravidla distribuovaný.
- Strategie řízení obsahuje koncept odpovídající odezvy na dynamický stav procesu a jeho okolí.
- System jako celek disponuje jistou mírou inteligence.

## 2.3 Mechatronický výrobek

„Výrobky, které jsou výsledkem postupů podle principů mechatroniky, se vyznačují použitím pokrokových materiálů, novými technologickými účinky, špičkovými technickými vlastnostmi a účelovou strojovou inteligencí, umožňující jim buď autonomní činnost, nebo racionální včlenění do nadřazeného řídicího systému.“<sup>1</sup> Hrubé rozdělení mechatronických výrobků viz níže.

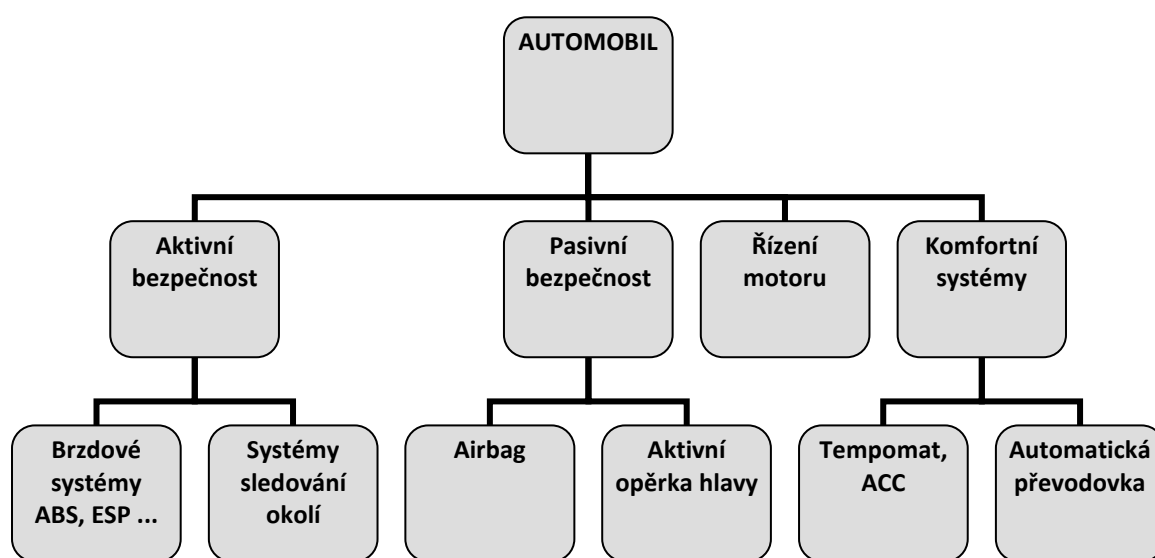
<sup>1</sup> MAIXNER, Ladislav a kolektiv. Mechatronika., s. 17.

## Rozdělení mechatronických výrobků

- Mechatronická zařízení s integrovanou elektronikou.
- Přesné přístroje s integrovanou elektronikou.
- Stroje s integrovanou elektronikou.

## 2.4 Mechatronické systémy v automobilu

Velkým polem působnosti pro mechatronické systémy je automobil a to především v oblasti aktivní bezpečnosti. Na Obr. 4 je základní rozdělení mechatronických systémů v automobilu. Nepopisuje ovšem veškeré vazby, protože např. systém ESP zasahuje i do řízení motoru apod.



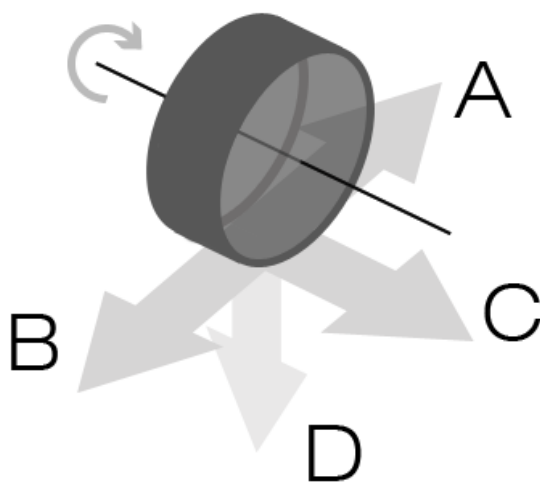
Obr. 4: Základní rozdělení mech. systémů v automobilu

### 3 Brzdové systémy

Se vzrůstajícími požadavky na komfort a úspornost přepravy vzrůstají i požadavky na bezpečnost. Právě v bezpečnosti mají mechatronické systémy široké využití jak v bezpečnosti pasivní tak především v bezpečnosti aktivní, tedy předcházení možné nehodě. Hlavním systémem aktivní bezpečnosti je systém brzdový.

#### 3.1 Jízdní stabilita

Základním požadavkem na stabilitu vozidla je dobrá přilnavost - adheze, která je vyjádřena třením mezi vozovkou a pneumatikou kola. Brzdná síla je závislá především na velikosti tíhové síly  $F_N$  [N] působící ve směru normály a na součiniteli adhezního tření  $\mu_a$  [—], který závisí na momentálním stavu vozovky a může být velmi proměnlivý.



**Legenda:**

- A. Hnací síla  $F_H$
- B. Brzdná síla  $F_B$
- C. Vodící (boční) síla  $F_V$
- D. Tíha působící ve stopě pneumatiky

Obr. 5: Síly působící v místě styku kola s vozovkou

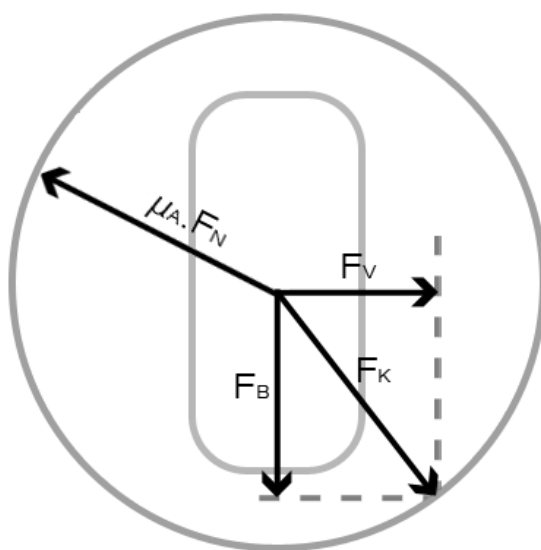
Podélné síly  $F_H$  [N] a  $F_B$  [N] vznikají hnacím momentem vytvářeným motorem resp. brzděním díky brzdám kola. Boční síly  $F_V$  [N] vznikají zatáčením nebo také nakloněním vozovky. Maximální hodnota brzdě síly  $F_B$  [N] je rovna součinu tíhové síly  $F_N$  [N] a součinitele adhezního tření  $\mu_a$  [-].

$$F_B \leq \mu_v \cdot F_N \quad (1)$$

Pokud působí ve stopě pneumatiky nejen brzdě síla (případně hnací) síla, ale i boční síla, pak se jejich velikosti geometricky sčítají. Velikost  $F_K$  [N] je výsledná přenositelná vodorovná síla.

$$F_K = \sqrt{F_B^2 + F_V^2} \leq \mu_v \cdot F_N \quad (2)$$

Okamžité adhezní vlastnosti lze znázornit pomocí Kammovy kružnice (viz. Obr. 6). Poloměr je udán součinem tíhové síly  $F_N$  [N] a součinitele adhezního tření  $\mu_a$  [-]. Čím jsou lepší adhezní podmínky, tím je i kružnice větší. Výsledný vektor  $F_K$  [N] získaný geometrickým součtem boční  $F_V$  [N] a brzdě síly  $F_B$  [N] nesmí přesáhnout kružnici. Pokud je uvnitř, vozidlo jede požadovaným směrem a kolo se bez problémů odvaluje. Pokud ovšem tato výslednice překročí kružnici přilnavosti, dostane se kolo do smyku a začne se pohybovat směrem udaným vektorem  $F_K$  [N].



Obr. 6: Kammova kružnice

## 3.2 Protiblokovací systém ABS (Anti-lock Brake System)

Jedním se základních prvků aktivní ochrany je dnes již zcela běžný systém ABS. Jde o systém regulace brzdné síly zabráňující zablokování kol a tím ztráty adheze mezi pneumatikou a vozovkou. Díky tomu si vůz zachovává stabilitu, ovladatelnost a při špatném stavu vozovky, jako je například voda nebo náledí a dosahuje kratších brzdných drah.

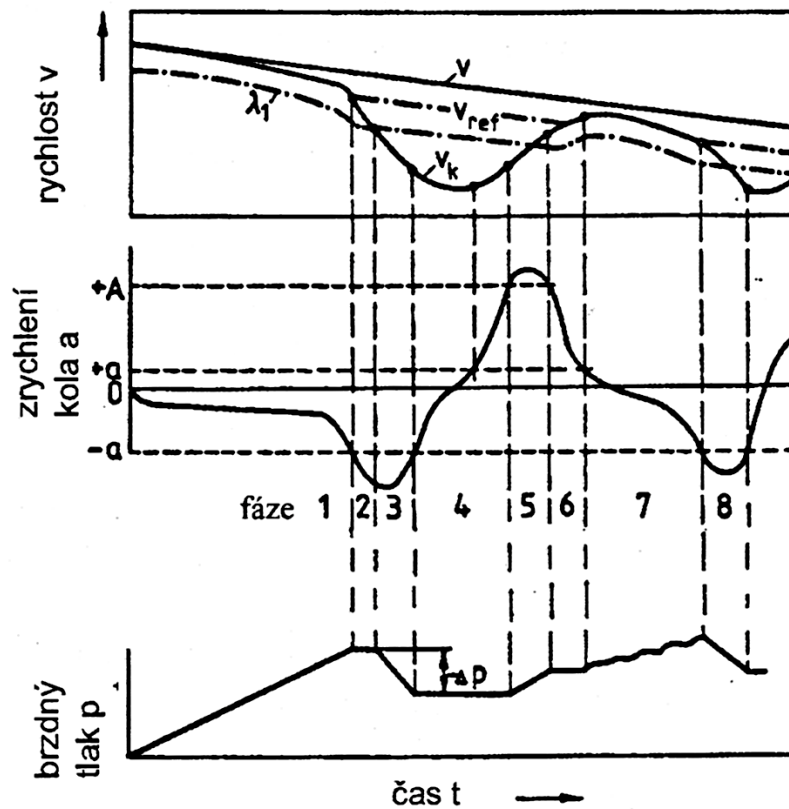
### Systém vznikl na základě následujících požadavků

- Maximální využití součinitele adhezního tření.
- Zajištění stability a říditelnosti bez ohledu na podmínky (stav a změna stavu vozovky, rychlost, průjezd zatáčkou).
- Omezení otáčení vozidla vlivem gyroskopických momentů.
- Kontrola bezchybnosti systému.

Brzdný účinek kola narůstá s rostoucím skluzem až na kritickou hodnotu, odkud začne klesat a dostane se do nestabilní oblasti. Hodnota tohoto mezního skluzu je závislá mj. na stavu vozovky, vlastnostech pneumatiky a je asi 15 %. Úkolem ABS je udržet kolo ve stabilní oblasti tj. před kritickou hodnotou. Překročením by se kolo dostalo do smyku a vůz by se stal neovladatelný (pohyboval by se stále směrem před zablokováním kol). Při skluzu také dochází k velkému tření a tím k rychlému opotřebenosti pneumatiky.

V grafu na Obr. 7 je zachycen typický průběh regulačního cyklu, v tomto případě na drsné vozovce (vysoká hodnota součinitele adheze). Brzdný tlak je regulován na základě překročení prahů obvodového zrychlení kola  $-a$ ,  $+A$ ,  $+a$ . Dále také překročením prahu skluzu  $\lambda_1$ .





Obr. 7: Ukázka funkce regulace ABS  
Zdroj: Koncepce motorových vozidel

**Legenda:**

$v_F$  – rychlost vozidla

$v_{ref}$  – referenční rychlost

$v_k$  – obvodová rychlost pneumatiky

$\lambda_1$  – prahová hodnota skluzu

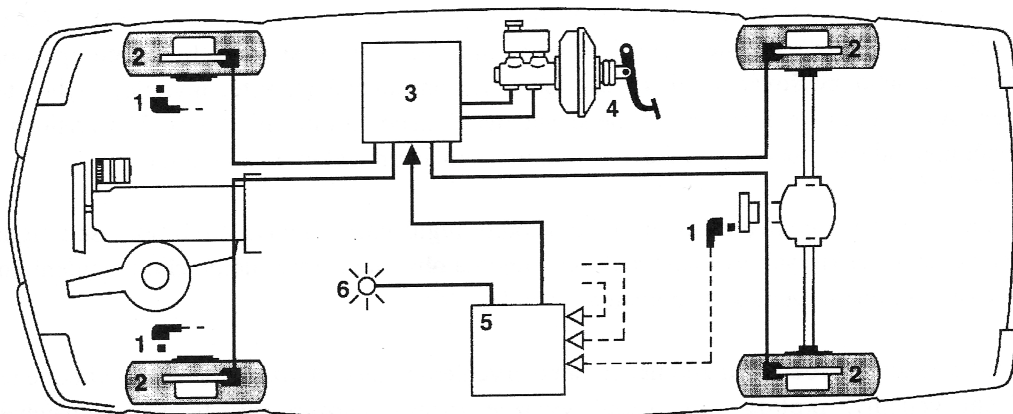
+A, +a – prahová hodnota obvodového zrychlení pneumatiky

-a – prahová hodnota obvodového zpomalení pneumatiky

$-\Delta p$  – snížení brzdného tlaku

## Struktura a funkce

Na Obr. 8 jsou zobrazeny základní prvky třísnímačového čtyřkanálového systému ABS 2 od firmy Bosch.



Obr. 8: Bosch ABS 2

1 – Snímač otáček kol. 2 – Kolové brzdy. 3 – Hydraulická jednotka. 4 – Hlavní brzdový válec s podtlakovým posilovačem. 5 – Elektronická řídicí jednotka. 6 – Kontrolka ABS. Zdroj: Podvozky motorových vozidel

Následkem dopravní situace dojde k prudkému brzdění všech čtyř kol. V případě, že např. pravé přední kolo najede na mokrý povrch (s nižší hodnotou adheze), vzhledem k nízkému tření dojde k jeho zablokování. Řídicí jednotka ABS (5) tento stav vyhodnotí díky informaci ze snímače otáček (1). Reaguje povelům pro hydraulickou jednotku (3) a ta uvolněním ventilu sníží brzdový tlak v potrubí. To uvolní brzdový třmen (v případě kotoučových brzd). V případě, že dojde k odblokování kola, hydraulická jednotka opět ventil uzavře. Každé kolo je takto nepřetržitě sledováno a k úpravě brzdového tlaku může dojít až 15x za sekundu.

Důležitou součástí jsou bezpečnostní systémy, které kontrolují bezchybnost a v případě detekce závady musí systém vypnout a informovat řidiče. V případě tohoto stavu se brzdná soustava vozu chová tak, jako kdyby ve voze systém ABS nebyl.

### 3.2.1 Praktický test ABS

Funkci ABS jsem ověřil testem na třech druzích povrchu. Porovnáním brzdných drah při vypnutém a zapnutém ABS a jednou modelovou situací ukazující ovladatelnost vozidla při prudkém brzdění. Test byl prováděn opakovaně ve snaze minimalizovat náhodnou chybu. Především u testu na zasněžené vozovce, kde byly hodnoty ovlivněny nerovnoměrnou pokrývkou. Další nepřesnosti mohly nastat při odečítání rychlosti a místa, kdy bylo zahájeno brzdění. Ty byly vyhodnocovány řidičem. V reálném světě ovšem sedí za volantem také člověk, který na vnější podněty reaguje různě. Díky opakování měření jsou tyto rozdíly mezi naměřenými hodnotami zanedbatelné. Testovaný vůz nesymbolizuje moderní technologie, ale běžný vůz na českých silnicích obsahující Nonintegral 4-wheel systém ABS.

*Tab. 1: Parametry testovaného vozu*

Model	Ford Escort
Motor	1.8 16V
Karosérie	Combi
Rok výroby	1996
Brake ABS System	4-wheel
Pneumatiky	Dunlop SP Winter Sport M3 175/65 R14

## Výsledky na zasněžené vozovce

Tab. 2: Podmínky testu na zasněžené vozovce

Stav vozovky	Uježděný sníh
Teplota	4,2 °C
Rychlost	50 km/h

Tab. 3: Brzdné dráhy na zasněžené vozovce 50 km/h - 0 km/h

	bez ABS [m]	ABS [m]
1	19,2	26,3
2	19,5	28,4
3	22,2	28,6
4	31,1	26,8
5	26,6	27,3
6	28,7	27,3
7	29,1	26,3
8	24,3	27,5
9	27,1	29,4
10	29,1	26,3
Ø	<b>25,7</b>	<b>27,4</b>

Automobil se při brzdění se zapnutým ABS choval stabilně, nijak nevybočoval z dráhy. Průměrná hodnota deseti měření dosahuje 27,4 metrů. Odpovídající hodnota pro zpomalení z 50 km/h na 0 km/h je tedy 27 metrů. S vypnutým ABS byla hodnota měření nižší než v předchozím případě a první hodnoty dosahovaly dokonce hranice 20 metrů. Toto bylo způsobeno tzn. klínovým efektem, kdy se před zablokovaným kolem vytváří z hrnutého sněhu klín a automobil zastavil dříve. Některé další změřené hodnoty dosahující hranice až 30 metrů byly způsobeny najetím na "uklouzanou" stopu z předchozího pokusu, na které by se brzdná dráha prodloužila i se systémem ABS. Při snaze zachování rovných podmínek jsou tyto hodnoty zkreslené a reálná brzdná dráha je 22 metrů. Podstatné je ovšem chování automobilu. Vůz se dostával do smyku a nejen že téměř nereagoval na natáčení kol, ale samovolně a náhodně (reakcí na změnu adheze jednotlivých kol) se natáčel a vychyloval z předpokládané brzdné dráhy.

## Výsledky na suché vozovce

Tab. 4: Podmínky testu na suché vozovce

Stav vozovky	Sucho, prach
Teplota	7,1 °C
Rychlost	50,100 km/h

Tab. 5: Brzdné dráhy na suché vozovce 50 km/h – 0 km/h

	bez ABS [m]	ABS [m]
1	6,9	8,6
2	8,2	10,3
3	10,2	10,4
4	7,6	7,6
5	7,8	10,1
6	8,2	9,2
Ø	<b>8,2</b>	<b>9,4</b>

Tab. 6: Brzdné dráhy na suché vozovce 100 km/h – 0 km/h

	bez ABS [m]	ABS [m]
1	32,3	36,0
2	33,1	40,5
Ø	<b>32,7</b>	<b>38,3</b>

Brzdná dráha se zapnutým ABS byla ve všech případech delší než v případě vypnutého ABS. Markantnější rozdíl byl vidět až při vyšší rychlosti, kdy byl rozdíl asi 7 m. Tento rozdíl už může být při brzdění v kritických situacích rozhodující. V obou případech vozidlo zastavilo bez problémů, nevychylovalo se z dráhy. Při brzdění bez ABS docházelo, hlavně při rychlosti 100 km/h, k velkému opotřebením pneumatik. Mimo jiné se potvrdil teoretický předpoklad, že brzdná dráha při 100 km/h je zhruba 4x delší než při 50 km/h.

## Výsledky na mokré vozovce

Tab. 7: Podmínky testu na mokré vozovce

Stav vozovky	Mokro
Teplota	9 °C
Rychlost	70 km/h

Tab. 8: Brzdné dráhy na mokré vozovce 70 km/h – 0 km/h

	bez ABS [m]	ABS [m]
1	17,3	20,7
2	18,3	17,1
3	18,9	17,5
4	20,1	19,5
5	17,9	17,0
6	19,3	17,6
Ø	<b>18,6</b>	<b>18,2</b>

Mokrá vozovka byla v mém testu jediná, kde byly brzdné dráhy s ABS kratší. Množství vody na vozovce bylo malé a dá se předpokládat, že při větším množství vody by byl rozdíl ve výsledcích markantnější. I tak se vliv ABS projevil kratší brzdou drahou. Rozdíl v průměrném výsledku 0,4 m je sice malý, ale když vezmu v úvahu předchozí výsledky na sněhu a suchu, kde brzdá dráha bez ABS byla podstatně delší, je zde vidět pravá funkce ABS.

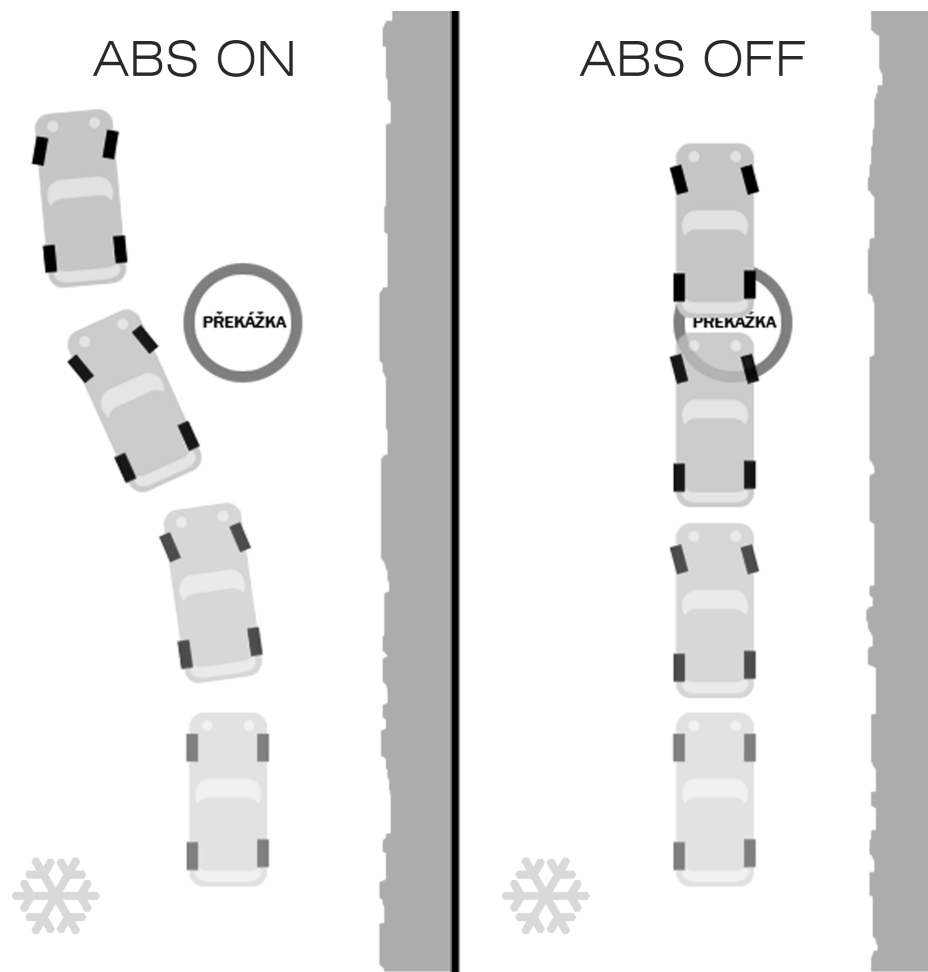
## Ovladatelnost vozidla při brzdění

Ovladatelnost jsem simuloval na modelovém případě, který může nastat v běžném provozu. Do dráhy vozu vnikne nenadálý objekt ( například nepozorný chodec ) a řidič reaguje prudkým brzděním a snahou se mu vyhnout objetím zleva. Testovaná rychlost byla 50 km/h což odpovídá městskému provozu, tedy místu, kde tato situace hrozí nejčastěji.

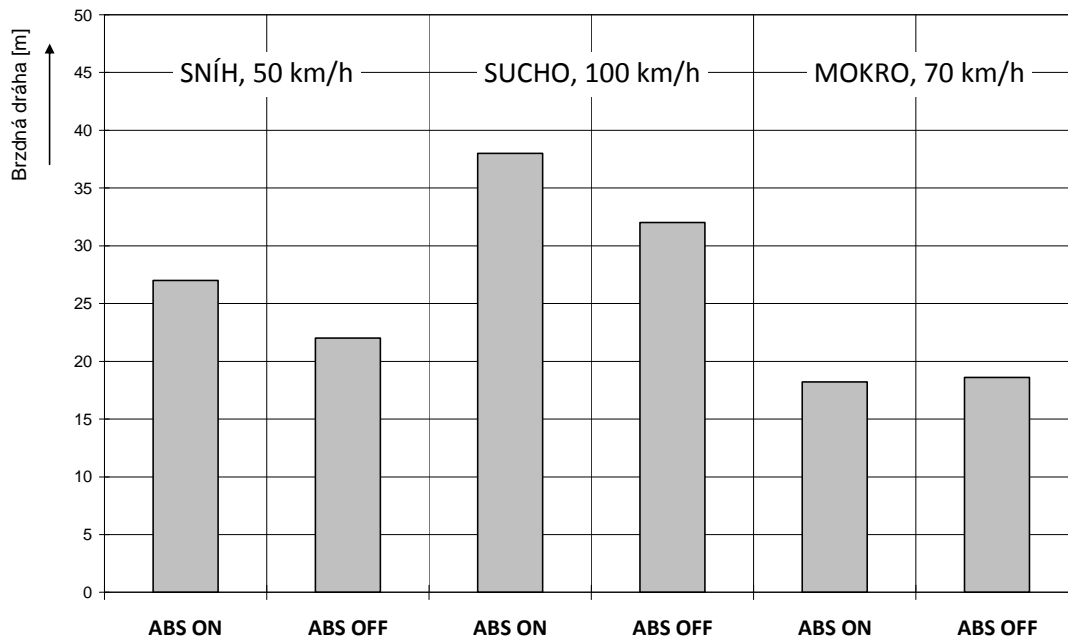
*Tab. 9: Podmínky testu ovladatelnosti*

Stav vozovky	Uježděný sníh
Teplota	4,2 °C
Rychlost	50 km/h

Se zapnutým ABS vozidlo začalo zpomalovat a také reagovalo na snahu řidiče změnit směr. Vozu se podařilo vyhnout se překážce. S vypnutým ABS vozidlo zpomalovalo rychleji, ale vůz měnil směr nezávisle na natočení kol. Změna směru nastala pouze náhodná, závislá na konkrétní adhezi jednotlivých kol k vozovce. I přes větší zpomalování se vozidlu nepodařilo překážce vyhnout. Obě situace jsou znázorněny na následujícím obrázku (Obr. 9).



Obr. 9: Chování vozu na zasněžené vozovce S a Bez ABS



Obr. 10: Výsledné průměrné brzdě dráhy



## Zhodnocení testu

Z naměřených hodnot a průběhu testu lze vyvodit několik závěrů. ABS není systém za všech okolností lepší než pouhé zablokování kol, ale jeho přínos je velký. Kratší brzdná dráha se v mém testu projevila pouze na vodě. Tento rozdíl by byl nejspíše markantnější na ještě kluzčích povrchích jako je například namrzlá vozovka. Bohužel jsem neměl možnost test na kluzké vozovce provést, ale z předchozího se dají výsledky dobře odhadnout. Delší brzdná dráha na sněhu a suché vozovce je asi největší negativum systému ABS. Ovšem bohatě vyvážené možnosti řídit vůz za všech podmínek a vyhnout se tak například překážce, nebo zahrnout v zatáčce. Také byl úplně eliminován faktor různé přilnavosti pneumatik k vozovce což zabezpečuje stabilitu vozu. Výsledky splnily moje očekávání ohledně ABS i přes to, že testovaný vůz byl 15 let starý stejně jako ABS systém v něm použitý. Jediné překvapení byl velký rozdíl v délce brzdných drah na sněhu a pak také při vyšší rychlosti na suché vozovce. Souhrn výsledků a průběh měření je zaznamenán v přiloženém videu.

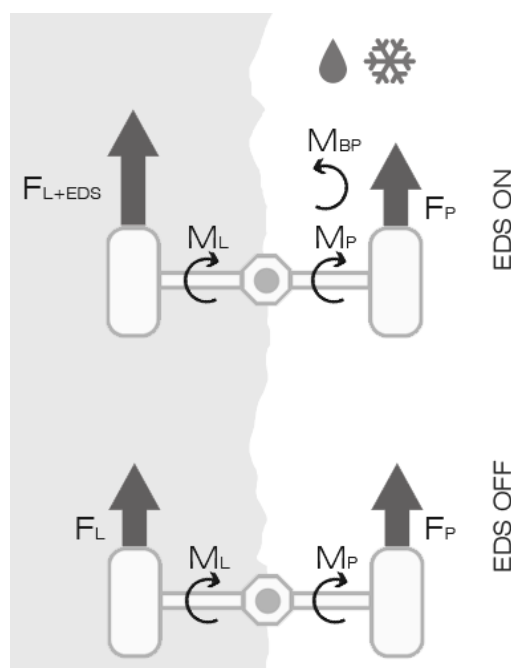
### **3.3 Systém regulace prokluzu kol ASR (Anti-Slip Regulation)**

K nestabilitě řízení může dojít nejen při brzdění, ale i při prudké akceleraci nebo akceleraci na povrchu s nízkou adhezí. V tom okamžiku dojde k překročení maximálního přenositelného točivého momentu a kola začnou prokluzovat. Systém ASR tomuto může zabránit dvěma cestami. ASR je rozšířením systému ABS, především řídicí jednotky, která sleduje otáčení kol a porovnává hnanou nápravu s nehnanou. V případě, že vyhodnotí prokluz kol, upraví brzdný tlak v potrubí a tím i brzdnou sílu kol. Druhou cestou, jak omezit prokluz kol, je snížení výkonu motoru. V tomto případě je potřeba elektronicky řízený plynový pedál. Dojde ke snížení otáček a kroutícího momentu motoru a tím i kroutícího momentu kol. Přibrzdování není v tomto případě už potřeba. Aktivita systému ASR je signalizována řidiči a slouží i jako informace o špatných adhezních podmínkách na vozovce. Také je možné systém vypnout v případech, kdy je jeho funkce nežádoucí.

### 3.4 Elektronický závěr diferenciálu EDS (Elektronische Differenzialsperre)

Jde o nadstavbu systému ABS využívající snímače otáček kol a řídicí jednotku ABS. Systém byl vytvořen s cílem zajistit optimální přenos kroutícího momentu v situacích, kdy se kola hnané nápravy nacházejí každé na povrchu s jinou adhezí. K tomu může dojít například na mokrém kraji vozovky nebo v terénu. Otáčky jednotlivých kol na stejné nápravě se liší. Díky diferenciálu je moment rozdělován v poměru 50:50. Pokud se dostane jedno kolo na kluzký povrch a začne se protáčet, nedokáže dostatečně přenášet moment. Poměr momentů je ovšem stále 50:50, takže tento stav omezí i druhé kolo. Všechn výkon spotřebuje prokluzující se kolo. Vůz se pak například do kopce nerozjede ani s pohonem všech kol.

EDS tento stav vyřeší přibrzděním prokluzujícího kola. Díky vzniklému brzdnému momentu dojde k dorovnání poměru a kolo nacházející se na povrchu s vyšší adhezí může lépe přenášet hnací sílu a nedojde k prokluzu. Situace je znázorněna na Obr. 11.

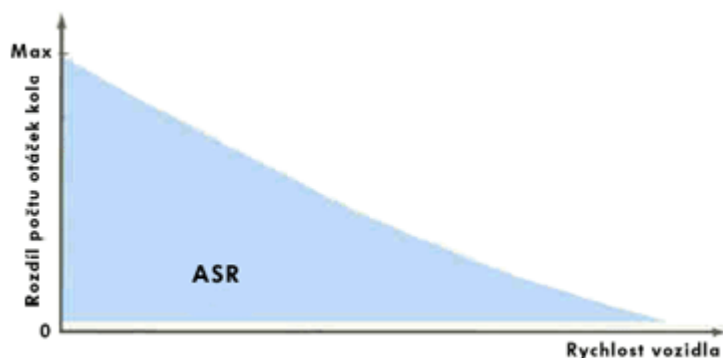


Obr. 11: Funkce EDS

## Součinnost EDS a ASR

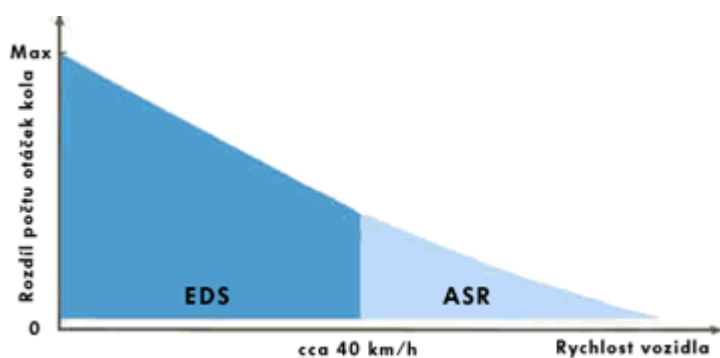
System EDS bývá spojen se systémem ASR. Součinnost těchto systémů je vidět na následujících případech u vozů Volkswagen:

1) Pohon přední nápravy – nastane rozdíl mezi otáčkami přední a zadní nápravy. Dochází k regulaci točivého momentu motoru systémem ASR.



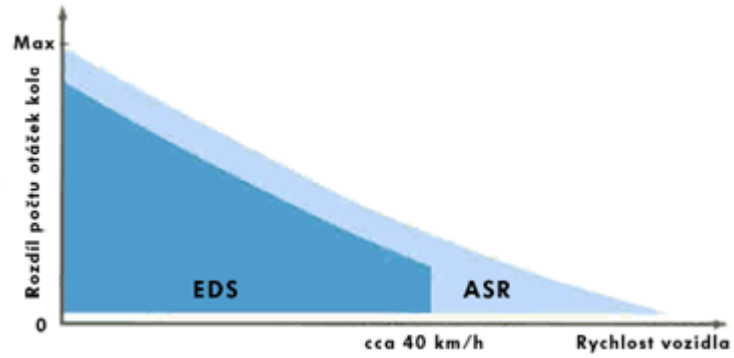
Obr. 12: EDS Rozdíl otáček mezi nápravami  
Zdroj: volkswagen.cz

2) Pohon přední nápravy – nastane rozdíl mezi otáčkami kol na přední nápravě. Do rychlosti 40 km/h přibrzdí EDS prokluzující kolo. Při vyšší rychlosti ASR omezí výkon motoru.



Obr. 13: EDS Rozdíl otáček mezi koly jedné nápravy  
Zdroj: volkswagen.cz

3) Pohon přední nápravy – nastanou oba předchozí případy současně tj. rozdíl otáček mezi nápravami i mezi jednotlivými koly přední nápravy. Do rychlosti 40 km/h reagují oba systémy, při vyšší rychlosti už jen ASR.



Obr. 14: EDS Rozdíl otáček mezi nápravami i jednotlivými koly  
Zdroj: volkswagen.cz

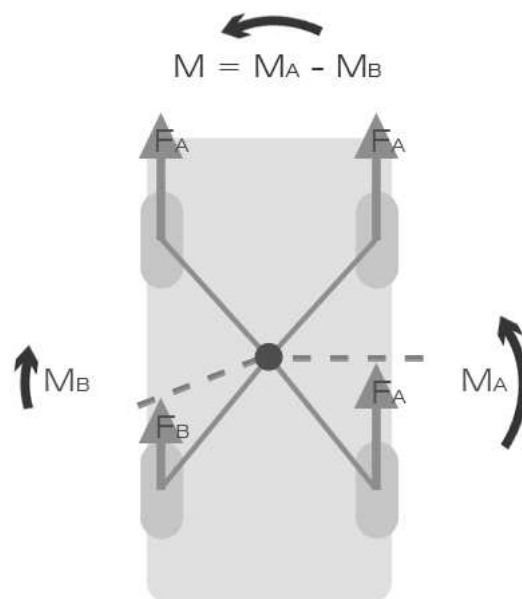
## 3.5 Stabilizační systém ESP (Electronic Stability Programme)

Systémy protiblokovací a regulace prokluzu kol zabezpečují stabilitu v podélném směru. V situacích, kdy musí řidič prudce zatáčet, např. objet překážku, vznikají také síly v příčném stavu a tím možnost vzniku nestability v tomto směru. Především na vozovce se špatnými adhezními vlastnostmi může nastat stav, kdy se směr, kterým chce řidič jet, a skutečný směr vozu může značně lišit. Vzniká otáčivý moment kolem svislé osy vozu. Systém ESP toto sleduje a cílenými zásahy vzniklou nestabilitu omezuje.

**Aby systém mohl fungovat potřebuje následující údaje o stavu vozu:**

- Velikost a směr natočení volantu.
- Rychlost otáčení všech kol.
- Velikost příčného zrychlení.
- Moment setrvačnosti kolem svislé osy vozu.
- Intenzita brzděné síly.

Vyhodnocením těchto údajů systém určí stav vozidla, kam chce řidič jet a kam vozidlo skutečně směřuje. Může vhodně zasáhnout přibrzděním jednotlivých kol případně omezením momentu motoru a vytvořit opačný otáčivý moment, než který vznikl z jízdní situace. Pokud se vozidlo dostane do přetáčivého smyku, přibrzdí se kolo na vnější straně zatáčení. V případě nedotáčivého smyku přibrzdí se naopak kolo na vnitřní straně. Při složitějších manévrech se kombinuje přibrzdění jednotlivých kol tak, aby bylo dosaženo požadovaného otáčivého momentu a vůz směřoval tam, kam ho řidič vede.

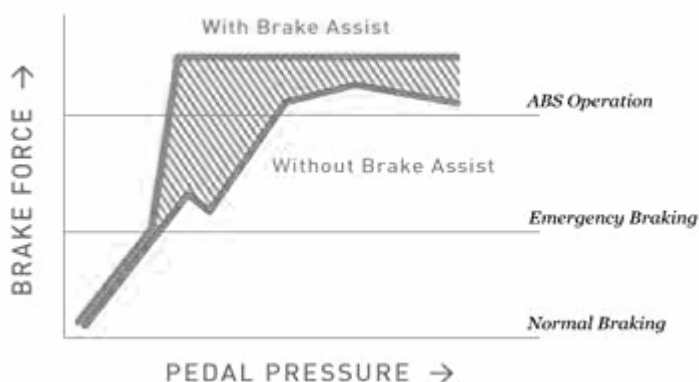


*Obr. 15: Otáčivý moment působící na vůz*

Prospěšnost systému je zřejmá. Systém pomáhá zvládnout krizové situace bez ohledu na řídičské schopnosti. ESP tak završuje vývoj řady systémů sloužících ke stabilizaci jízdy vozidla. "ESP může zabránit až 80 procentům všech nehod vzniklých z důvodu smyku", říká Dr. Werner Struth, prezident divize Řízení podvozkových systémů společnosti Bosch.

### 3.6 Brzdový asistent (Brake Assist)

Brzdový asistent je systém napomáhající při prudkém brzdění v kritické situaci. Jde o nadstavbu ABS využívající jeho části. Používá také snímače pro určení rychlosti sešlápnutí a tlaku na brzdový pedál. Pokud brzdový asistent tyto hodnoty vyhodnotí jako brzdění v kritické situaci, zvýší tlak v brzdové soustavě prostřednictvím ventilu v podtlakovém posilovači brzd. Tím dojde ke zlepšení brzdného účinku a zkrácení brzdné dráhy. V závislosti na okolnostech může dojít ke zkrácení až o 20%. Systém napomáhá při špatné reakci řidiče, při nedostatečném sešlápnutí brzdového pedálu.



Obr. 16: Porovnání reakce brzdového asistentu

*Pedal pressure – tlak na brzdový pedál; Brake force – brzdná síla; Normal braking – oblast běžného brzdění; Emergency braking – oblast kritického brzdění; ABS operation – oblast regulace systémem ABS; Without brake assist – průběh bez brzdového asistentu; With brake assist – průběh s brzdovým asistentem;*  
Zdroj: oica.net

#### Vysvětlivka ke grafu

V oblasti Normal Braking není asistent aktivní, jedná se o běžné brzdění. Po překročení definované meze dojde, narozdíl od systémů bez brzdového asistentu, k většímu nárůstu brzdné síly a také k rychlejšímu dosažení oblasti, kdy začne fungovat ABS.



### **3.7 Elektro-hydraulický brzdový systém SBC (Sensatronic Brake Control)**

System SBC byl vyvinut firmou Bosch na základě mnohaleté zkušenosti se systémy, počínaje ABS přes ASR až k ESP. Na základě těchto systémů byl vytvořen nový, zahrnující všechny funkce. Jde o elektro-hydraulický systém. Poloha brzdového pedálu je sledována redundantním snímačem, vyslaný signál je zpracován řídicí jednotkou, která na základě těchto informací a informací ze senzorů kol, brzdného momentu motoru, pohybu vozidla a odstupu před vozidlem (pomocí radaru) stanoví brzdný tlak v jednotlivých kolech. Ten je rozváděn hydraulickou jednotkou z vysokotlakého zásobníku. Zde je stálý tlak 140 barů, čímž je zajištěna rychlá reakce. Proto zde není potřeba posilovač brzd. Systém vylepšuje také funkci brzdového asistenta. Sleduje nejen brzdový pedál, ale také pedál plynový a v případě, že řidič tento pedál prudce uvolní, což by mohlo následovat prudké brzdění, systém předpřipraví stav brzd až na těsné přiblížení brzdového obložení k brzdovému kotouči. Tím se docílí ještě rychlejší reakce při nouzovém brzdění. Systém SBC využíval ve svých vozech Mercedes-Benz, ale díky chybám v softwaru bylo jeho užívání omezeno a ztratilo důvěryhodnost. Nedošlo tak k jeho využití v širším měřítku.

### **3.8 Sjíždění prudkých svahů HDC (Hill Descent Control)**

HDC je funkce aktivovaná výhradně řidičem. Pokud je aktivován, tak společně s ABS zajistí vozu při jízdě ze svahu plnou stabilitu a konstantní rychlost nezávisle na stavu povrchu. Řidič se tak může plně věnovat řízení. Systém přibrzdováním jednotlivých kol a zabráněním jejich zablokování udržuje rychlost na 7 km/h. Rychlost může být regulovaná zásahem řidiče v rozmezí 6 - 25 km/h. HDC bývá nečastěji součástí vozů typologicky se hodících do mírného terénu s pohonem všech čtyř kol. Zvládá ale i sjezd po zasněženém nebo travnatém svahu.

## 4 Řízení motoru

Spalovací motor musí splňovat požadavky na výkonové parametry (výkon, průběh momentu), na jeho ekologičnost (emise) a na ekonomičnost (spotřeba paliva). Výsledný točivý moment je určen kroutícím momentem vyvíjeným během expanze (množství vzduchu a paliva) sníženým o ztráty (ztrátový moment). Řízení vyhodnocuje stav a zpětnovazebně zasahuje v reálném čase pomocí akčních členů do spalovacího procesu. Spalovací motor se při provozu může dostat do čtyř základních stavů. Při každém z nich jsou kladeny rozdílné požadavky.

### Stavy spalovacího motoru

- **Běh naprázdno** – požadavek na udržení konstantních otáček, minimální spotřeby a exhalací. Výchozí stav motoru kdy přivedená energie kryje pouze ztráty.
- **Částečné zatížení** – nejčastější stav motoru. Snaha o co nejnižší spotřebu a emise.
- **Plné zatížení** – hlavní je dosažení maximálního výkonu. Spotřeba a emise jsou méně podstatné.
- **Nestacionární stav** – přechod mezi ustálenými stavy, typicky akcelerace, decelerace a spouštění motoru.

Existují čtyři základní technologická řešení přípravy směsi pro zážehový motor. Nejstarším je karburátor. Dalším vývojem došlo ke vzniku systému vstřikování, nejprve jednobodového, následně vícebodového pro lepší rozprostření směsi. Nejmladším systémem je přímé vysokotlaké vstřikování, kdy je palivo vstřikováno přímo do spalovacího prostoru.

### Tvorba směsi v zážehových motorech

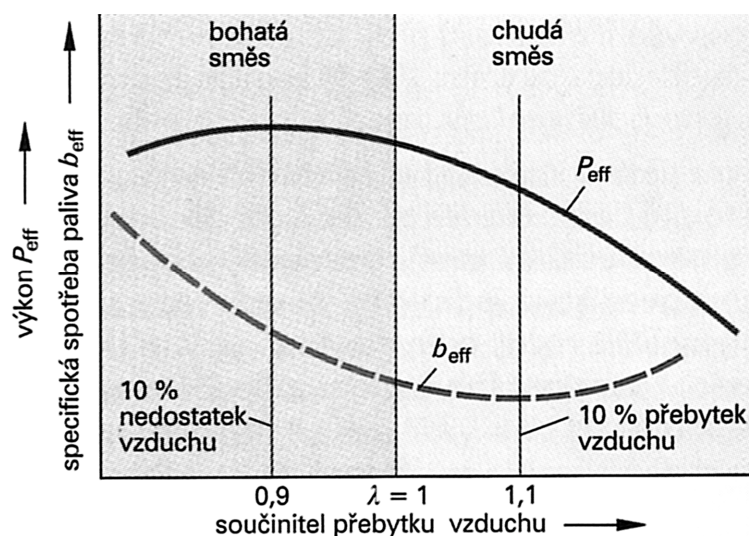
- Karburátor s elektronickým řízením
- Jednobodové vstřikování
- Vícebodové vstřikování (multipoint)
- Přímé vysokotlaké vstřikování

Spalovací proces probíhá uvnitř motoru, kde dochází k energetické přeměně energetického obsahu paliva na mechanickou práci. Pro zajištění optimálního spalování je třeba pro určité množství kyslíku dodat správné množství paliva. Jde o stechiometrický směšovací poměr. Právě tohoto poměru chceme dosáhnout. Ukazatel kvality spalovacího procesu hodnotí koeficient přebytku vzduchu  $\lambda[-]$ .

$$\lambda = \frac{\text{množství}_{\text{nasáté}}}{\text{množství}_{\text{teoretické}}} \quad (3)$$

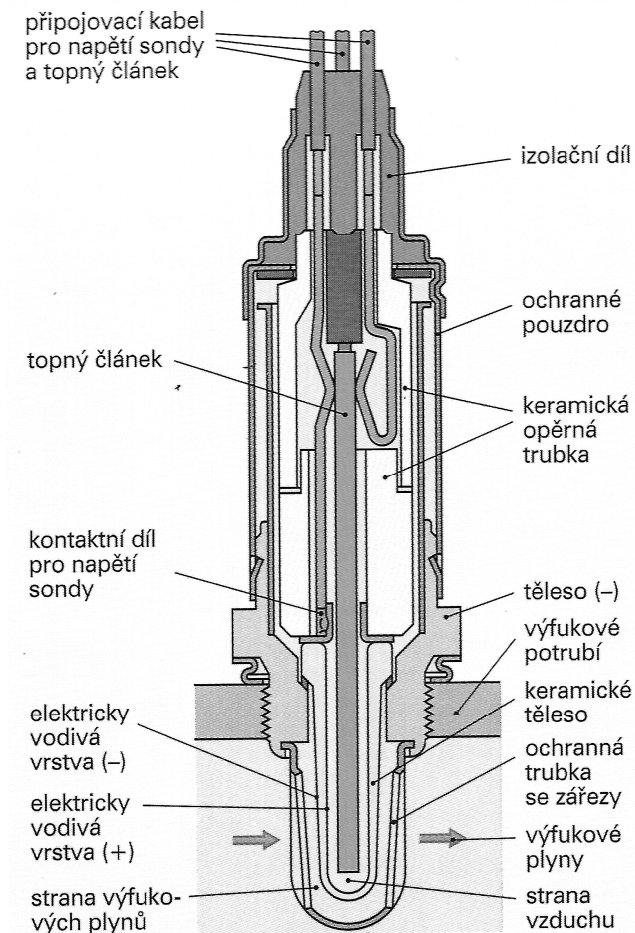
Ze vzorce (3) vyplývá, že mohou nastat tři případy.  $\lambda = 1$  – teoretický ideální stav,  $\lambda < 1$  – bohatá směs (přebytek paliva),  $\lambda > 1$  – chudá směs (přebytek vzduchu).

V grafu na Obr. 17 je vidět, že optimální stav mezi výkonem motoru a spotřebou paliva je při  $\lambda = 1$ . Při nižší hodnotě  $\lambda$  sice vzrůstá výkon, ale nepoměrně více vzrůstá také spotřeba paliva. Naopak při vyšší hodnotě  $\lambda$  klesá lehce spotřeba, ale mnohem více výkon motoru. Při přebytku/ nedostatku vzduchu větším než 10% od hodnoty  $\lambda = 1$  je situace ještě nepříznivější.

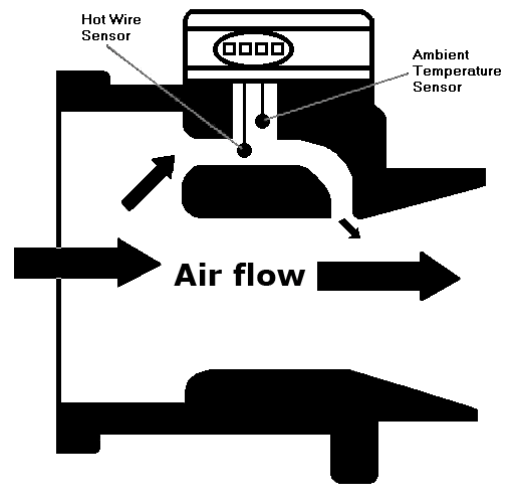


Obr. 17: Závislost výkonu a spotřeby paliva na  $\lambda$   
Zdroj: Příručka pro automechanika

Senzor stanovující přebytek vzduchu se nazývá lambda sonda. Konstrukčně je umístěna za motorem a měří přebytek vzduchu ve spalinách.

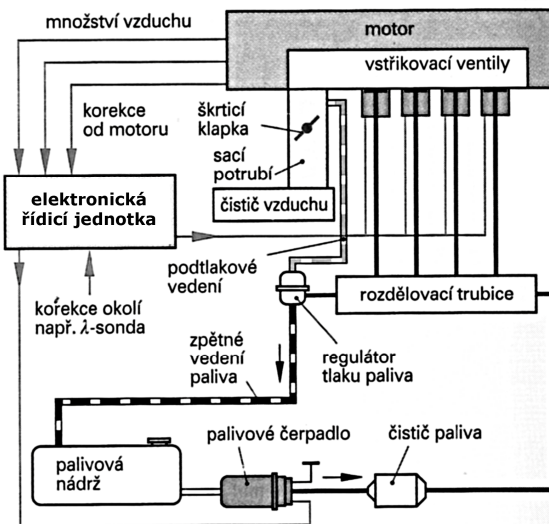


Obr. 18: Konstrukce lambda sondy  
Zdroj: Příručka pro automechanika



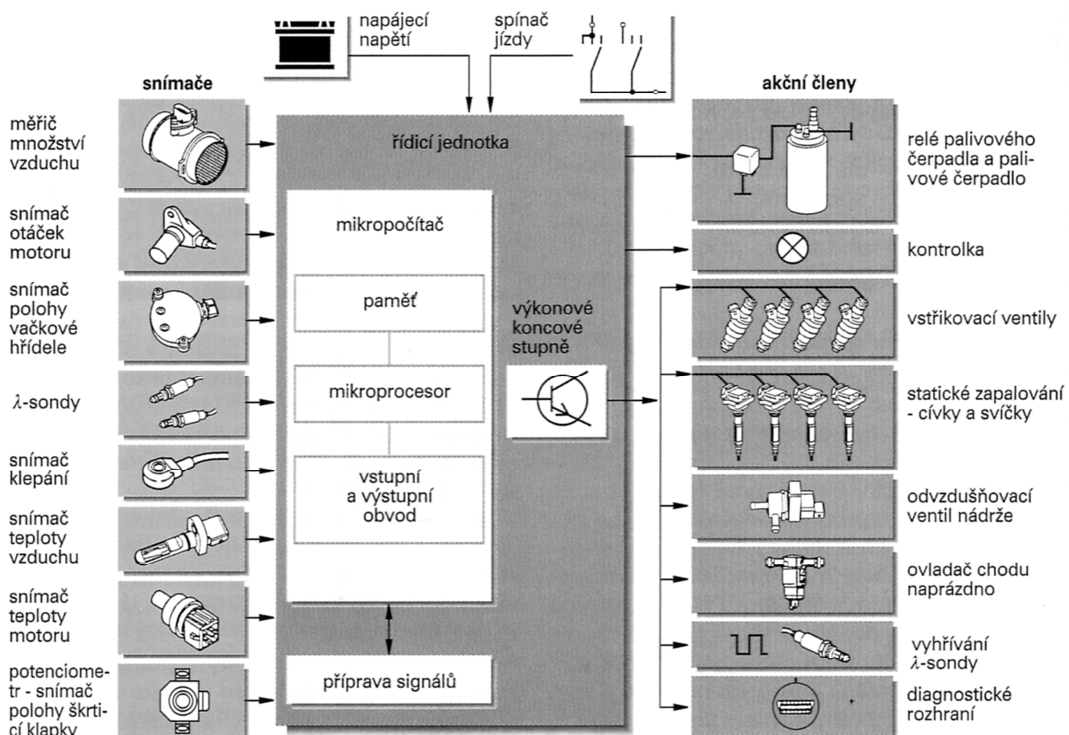
Obr. 19: Mass air flow sensor (MAF)  
Zdroj: fordfuelinjector.com

Pro správné určení množství paliva, resp. doby vstřiku, musí znát elektronická řídicí jednotka především množství nasávaného vzduchu. Toto množství určuje např. senzor MAF (Mass air flow) na Obr. 19, měřící rychlost protékajícího vzduchu pomocí odporového drátku (hot wire sensor), jehož odpor se mění v závislosti na ochlazování protékajícím vzduchem. Hodnotu porovnává s teplotou okolního vzduchu, měřenou druhým drátkem (ambient temperature sensor) mimo průtok. Senzor MAF také zjišťuje zatížení motoru (potřebný výkon), což velmi ovlivňuje stupeň obohacení směsi. Další hodnotou je zpětnovazební informace od lambda sondy o zbytkovém vzduchu. Korekce od lambda sondy je aktivní až po zahřátí motoru, protože studený motor vyžaduje bohatší směs. Dále dostává řídicí jednotka informace o teplotě motoru, resp. teplotě chladicí kapaliny motoru (odporový senzor), o otáčkách motoru (senzor na setrvačnicku), poloze škrťací klapky (potenciometr), klepání (destruktivním spalování) a poloze vačkové hřídele. Např. na Obr. 20 je blokově znázorněna benzínová vstřikovací soustava s elektronickou regulací.



Obr. 20: Benzínová vstřikovací soustava  
Zdroj: Příručka pro automechanika

Výstupem řídicí jednotky je doba vstřiku paliva, čímž je řízeno složení směsi, dále okamžik zapálení směsi, řízení v případě volnoběhu a omezení maximálních otáček motoru. Řídicí jednotka má schopnost se učit, vytváří adaptační hodnoty. Reaguje také na opotřebení jak motoru, tak senzorů. Na Obr. 21 je blokové schéma systému Motronic, snímače, které řídicí jednotka využívá a akční členy realizující celý proces vstřikování.



Obr. 21: Blokové schéma systému Motronic  
Zdroj: Příručka pro automechanika

## 5 Pasivní bezpečnost

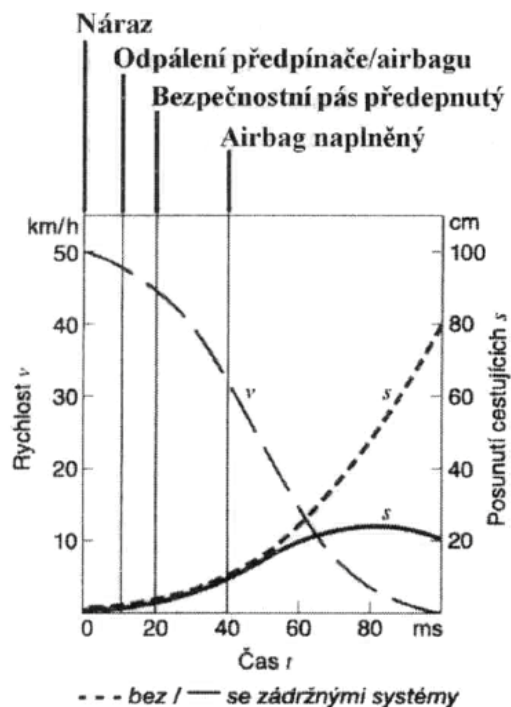
### 5.1 Airbag

V okamžiku, kdy dojde k nehodě, srážce vozu s překážkou, přicházejí na řadu systémy pasivní bezpečnosti. Jedním z hlavních je dnes běžně používaný airbag. Zařízení, jehož úkolem je minimalizovat škody a poskytnout co největší ochranu osobám ve vozu. Airbag spolu s bezpečnostními pásy a opěrkou hlavy může výrazně omezit zranění hlavně hlavy a hrudníku. Používá se také pyrotechnický předpínač pásů, který aktivuje také řídicí jednotka airbagu, má však nastavenou nižší aktivační hodnotu, takže může zareagovat na menší náraz, kdy ještě není aktivován airbag a zachytit lépe tělo. Existuje také tzv. systém inteligentních airbagů, který automaticky reguluje rychlost a intenzitu naplnění v závislosti na intenzitě nárazu. Dříve se používaly jen airbagy čelní, ale rozšiřují se i různé boční airbagy, které reagují na boční nárazy. Airbag je vak, který se v případě potřeby naplní dusíkem. Celý systém se skládá z vlastního vaku z polyamidové tkaniny, řídicí jednotky, senzorů zrychlení a inflátoru, který se stará o naplnění vaku. Celá reakce systému od vyhodnocení nárazu senzory zrychlení až po naplnění airbagu musí být velmi rychlá, aby



*Obr. 22: Airbagy ve voze Jaguar  
Zdroj: automotive-illustrations.com*

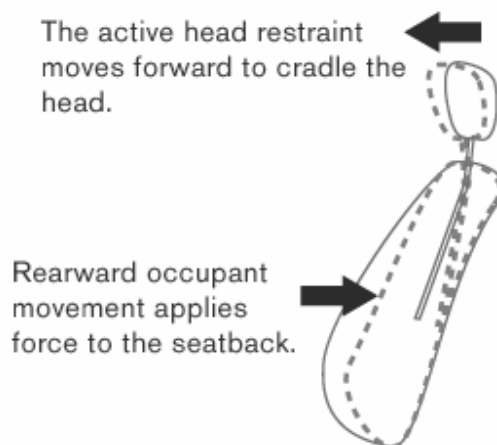
mohla účinně zareagovat na posun osoby a absorbovat její kinetickou energii. Z grafu na Obr. 23 je vidět, že k naplnění airbagu dojde v řádově desítkách milisekund, v tomto konkrétním případě za 40 ms. Po vnoření osoby do airbagu následuje jeho odražení a pohyb zpět do sedadla. Na Obr. 22 je znázorněna reakce airbagů ve voze Jaguar okamžitě po čelním nárazu.



Obr. 23: Reakce airbagu, 50 km/h  
 Zdroj: Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel

## 5.2 Aktivní opěrka hlavy

I přes matoucí název je aktivní opěrka součástí pasivní bezpečnosti. Jde o systém který reaguje na prudký zpětný pohyb osoby v sedačce a má za úkol lépe podložit hlavu a ochránit tak krční páteř. Na Obr. 24 je vidět funkce aktivní opěrky při nárazu vozidla.



Obr. 24: Reakce aktivní opěrky hlavy  
 The active head restraint moves forward to cradle the head – Aktivní opěrka se pohybuje vpřed a zachycuje hlavu; Rearward occupant movement applies force to the seatback – Zpětný pohyb osoby do opěradla sedadla . Zdroj: nissan-global.com

## **6 Komfortní systémy**

### **6.1 Regulátor rychlosti (Tempomat)**

Zařízení sloužící k udržování konstantní rychlosti vozidla. Porovnává rychlost skutečnou s rychlostí požadovanou a provádí potřebné korekce. Skutečnou rychlost určuje ze snímačů kol, které jsou součástí ABS, a řízením spalovacího motoru upravuje otáčky a tím i samotnou rychlost. Systém ovládá i automatickou převodovku (pokud je jí vůz vybaven) a může podřadit až o dvě rychlosti, například při jízdě do kopce. Systém je aktivován a nastaven na požadovanou rychlost řidičem. Vypnutí provádí také řidič příslušným ovladačem, nebo sešlápnutím brzdy/spojky.

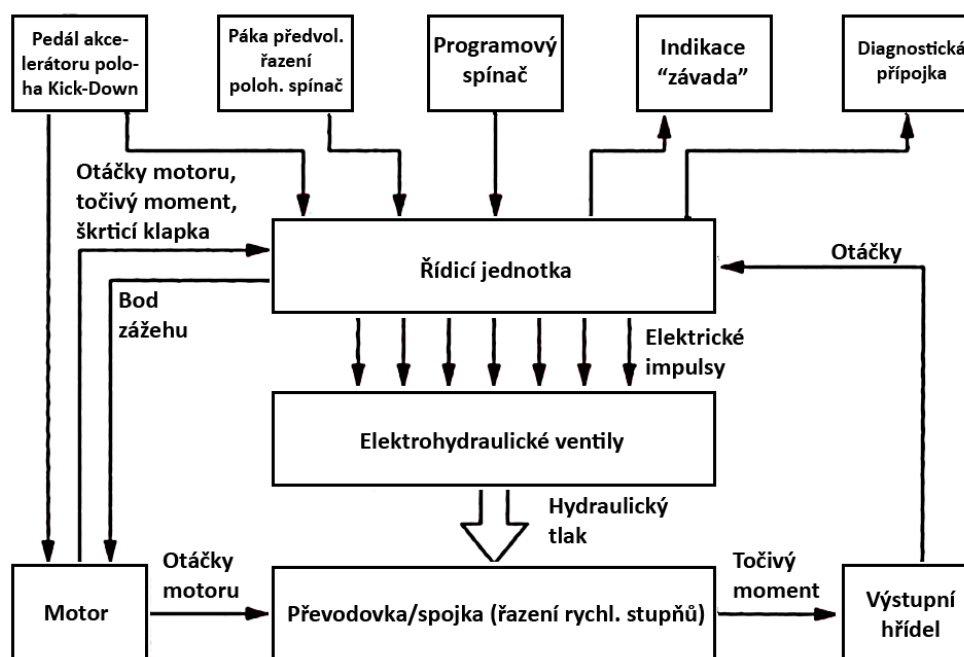
### **6.2 Adaptivní tempomat ACC (Adaptive Cruise Control)**

Jde o vylepšení funkce klasického tempomatu, který udržuje konstantní rychlost, využívaný především na dálnici. ACC přidává bezpečnostní prvek. Sleduje prostor před vozem pomocí mikrovlnného nebo laserového radaru. Na základě toho může systém automaticky omezit rychlost při přibližující se překážce, nebo rychlost opět zvýšit na původní, pokud se překážka vzdálí. Touto překážkou bývá typicky brzdící vozidlo, nebo třeba vozidlo zařazující se do stejného jízdního pruhu. V krajní situaci, pokud dojde k rychlému přibližování překážky, systém informuje řidiče a začne zpomalovat. ACC může mít několik variant nastavení určující bezpečný odstup před vozem, jízdní styl, nebo druh vozovky. Systém je nepoužitelný za deště nebo sněžení, případně husté mlhy.



## 6.3 Automatická převodovka

Aby byl optimálně využit výkon motoru, musí být závislost momentu  $M[\text{Nm}]$  a otáček hyperbolickou funkcí  $M = 9,55 \cdot P / n$ , kde  $P[\text{W}]$  je výkon motoru a  $n[\text{min}^{-1}]$  jsou otáčky motoru. Spalovací motor ovšem tento požadavek nesplňuje, proto je nutné použít převodové ústrojí mezi motor a hnací nápravu – převodovku. Díky požadavku na optimální chod a hlavně komfort ovládání vznikla automatická převodovka. Automatická převodovka sleduje otáčky, vyvíjený moment, výstupní rychlost kola. A na základě požadovaného momentu a požadavku na urychluující moment zvolí optimální převodový stupeň. Na Obr. 25 je blokové schéma elektronicky řízené převodovky. Je zde vidět propojení jednotlivých bloků kooperujících s řídicí jednotkou.



Obr. 25: Blokové schéma elektronicky řízené převodovky  
Zdroj: Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel

Nejnovější variantou jsou plně automatizované převodovky s elektronickým řízením. Používají se lamelové spojky s regulovaným tlakem pomocí elektrohydraulických ventilů.

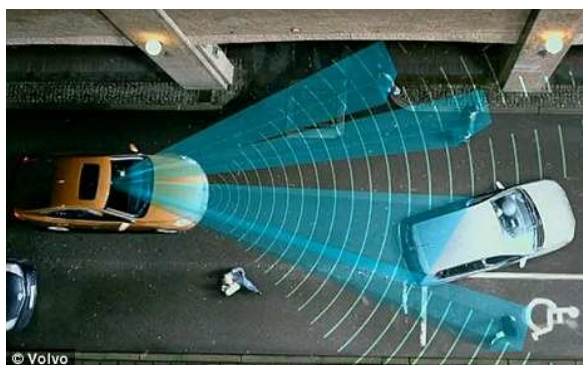
## 7 Systémy sledování okolí

### 7.1 City Safety

Systém nouzového brzdění byl např. vyvinut společností Volvo. Pokud se vůz pohybuje rychlostí mezi 3,6 km/h a 30 km/h je aktivní LiDAR (Light Detection And Ranging) sledující prostor 10 m před vozem. Pokud je zaznamenána překážka, systém předpřipraví brzdy a upraví citlivost brzdového asistenta tak, aby se dosáhlo rychlejší reakce, pokud řidič zareaguje brzděním. Pokud nezareaguje a přibližuje se kolize, systém automaticky začne brzdit. V rychlostech mezi vozem a překážkou do 15 km/h systém zabrání srážce i bez zásahu řidiče. Ve vyšších rychlostech alespoň minimalizuje škody. I tento systém ovlivňuje hustý déšť, sněžení a mlha.

### 7.2 Systém detekce chodců (Pedestrian Detection)

Další krok v bezpečnosti od společnosti Volvo. Tento systém se zaměřuje především na chodce. Systém je rozšířen o monitorovací kamery, které jsou umístěny v přední části zpětného zrcátka. Radarový systém zjistí, že se před vozem nachází objekt a kamery vyhodnotí, o jaký objekt se jedná. Díky dual-modu radaru jsou zachyceni chodci ještě před vkročením do vozovky a rozeznáni díky systému kamer. Chodci musí být určeni z obou zdrojů. Díky tomu se vůz může vyhnout srážce s chodcem až do rychlosti 35 km/h. Pokud dojde k této kritické události, je řidič informován na head-up displeji a také zvukově. Pokud nereaguje, systém opět automaticky brzdí.



Obr. 26: Volvo Pedestrian Detection  
Zdroj: volvo-cars.com

## 8 Závěr

Ve své práci jsem shrnul a popsal všechny hlavní mechatronické systémy používané v automobilu. Uplatňují se v několika oblastech: Aktivní a pasivní bezpečnost, řízení motoru, a komfortní systémy. Jako největší přínos mechatronických systémů do automobilu považuji systémy aktivní bezpečnosti. Díky nim lze předejít nehodám, nebo alespoň zmírnit jejich následky. Jak jsem si mohl v praktickém testu ověřit, viz. Praktický test ABS, tak i systém ABS instalovaný do vozu vyrobeného v roce 1996 přináší řidiči v kritických situacích relativně větší manévrovatelnost s vozem, což může být v některých případech stěžejní. Další velkou výhodou je stabilita bez ohledu na stav vozovky a při velmi nízkých adhezních stavech i kratší brzdná dráha. Vyzdvihnout mohu také spolehlivost těchto systémů pracujících v případě testovaného vozu 15 let, vůz je v provozu téměř denně, bez jediné závady a naprosto spolehlivě. Dalším velkým krokem po ABS v oblasti aktivní bezpečnosti je až systém ESP, který přináší ke stabilitě v podélném směru také stabilitu ve směru příčném. Chování vozu tak i při zatáčení na kluzkých površích je ovladatelné a vůz jede tam, kam ho řidič vede. Velmi chytrý a na první pohled jednoduchý systém nazývaný brzdový asistent může ve velkém množství případů zabránit srážkám, a to především s chodci. Ze statistik, které provedl Bosch, vyplývá, že velké množství řidičů nereaguje na krizovou situaci správným sešlápnutím brzdového pedálu. A i v případech, kdy je vůz technicky schopný zastavit včas se tak nestane. Přínos těchto systémů dokladuje i povinnost výrobcům automobilů instalovat brzdový asistent do nově vyrobených vozů od konce února 2011. A od roku 2014 přichází povinnost i pro systém ESP. Velký prostor pro zlepšování aktivní bezpečnosti vidím hlavně v systémech napomáhajících řidiči zachovat se správně v krizových situacích a vyhnout se nebo zabránit dopravní nehodě. Velmi zajímavé jsou systémy City Safety a Pedestrian Detection, které díky „inteligentním“ senzorům mohou zabránit nehodám vzniklých nepozorností řidiče. Myslím, že do budoucna přijde pokrok právě v tomto směru. I v oblasti řízení motoru dochází k pokrokům i když na první pohled ne tak viditelných. Jedním z nich bylo zavedení lambda sondy, která dává informaci o efektivnosti spalování z hodnoty vzduchu ve výfukových plynech. To přispívá ke správné přípravě směsi vzduchu s palivem. Do budoucna se i pohon vozu bude muset vyvíjet díky tlakům na ekologičnost a snižující se zásoby ropy. Z dlouhodobého pohledu tak může dojít i k úplnému upuštění od spalovacích motorů a nahrazení alternativním pohonem. Požadavky na bezpečnost budou aktuální stále.

## Seznam literatury a použitých zdrojů

- [1] MAIXNER, L. a kolektiv. Mechatronika. 1. vydání. Brno: Computer Press+, 2006. 280 s. ISBN 80-251-1299-3
- [2] VLK, F. Koncepce motorových vozidel. 1. vydání. Brno: Vlk, 2000. 367 s. ISBN 80-238-5276-0
- [3] VLK, F. Podvozky motorových vozidel. 1. vydání. Brno: Vlk, 2000. 392 s. ISBN 80-238-5274-4
- [4] GSCHEIDLE, R. Příručka pro automechanika. 26. vydání. Praha: Sobotáles, 2001. 632 s. ISBN 80-85920-76-X
- [5] GREGORA, S., MAŠEK, Z. Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel. 1. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. 225 s. ISBN 978-80-7395-082-8
- [6] VLK, F. Dynamika motorových vozidel. 2. vydání. Brno: Vlk, 2003. 432 s. ISBN 80-239-0024-2
- [7] ŠŤASTNÝ, J., REMEK, B. Autoelektrika a autoelektronika. 6. vydání. Praha: Malina, 2002. 316 s. ISBN 80-86293-02-5
- [8] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mechatronika>
- [9] <http://drivingfast.net/technology/abs.htm>
- [10] <http://www.bosch.com/>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Mechatronika jako kombinace oborů .....	2
Obr. 2: Blokové schéma transformace a přenosu energie.....	3
Obr. 3 Mechatronický systém .....	4
Obr. 5: Síly působící v místě styku kola s vozovkou.....	6
Obr. 6: Kammova kružnice .....	7
Obr. 7: Ukázka funkce regulace ABS .....	9
Obr. 8: Bosch ABS 2.....	10
Obr. 9: Chování vozu na zasněžené vozovce S a Bez ABS.....	16
Obr. 10: Výsledné průměrné brzdné dráhy .....	16
Obr. 11: Funkce EDS .....	19
Obr. 12: EDS Rozdíl otáček mezi nápravami .....	20
Obr. 13: EDS Rozdíl otáček mezi koly jedné nápravy .....	20
Obr. 14: EDS Rozdíl otáček mezi nápravami i jednotlivými koly .....	21
Obr. 15: Otáčivý moment působící na vůz.....	23
Obr. 16: Porovnání reakce brzdového asistentu.....	24
Obr. 17: Závislost výkonu a spotřeby paliva na $\lambda$ .....	27
Obr. 18: Konstrukce lambda sondy.....	28
Obr. 19: Mass air flow sensor (MAF).....	28
Obr. 20: Benzínová vstříkovací soustava.....	29
Obr. 21: Blokové schéma systému Motronic .....	29
Obr. 22: Airbagy ve voze Jaguar.....	30
Obr. 23: Reakce airbagu, 50 km/h .....	31
Obr. 24: Reakce aktivní opěrky hlavy.....	31
Obr. 25: Blokové schéma elektronicky řízené převodovky .....	33
Obr. 26: Volvo Pedestrian Detection .....	34